

INTBEM B

Mathematische Modellierung der hydrodynamischen Belastungen von See- und Ästuardeichen

Arbeitsgruppe: Dipl.-Ing. Cordula Berkenbrink
Dipl.-Ing. Ralf Kaiser
Dipl.-Ing. Hanz Dieter Niemeyer

Projektziele INTBEM

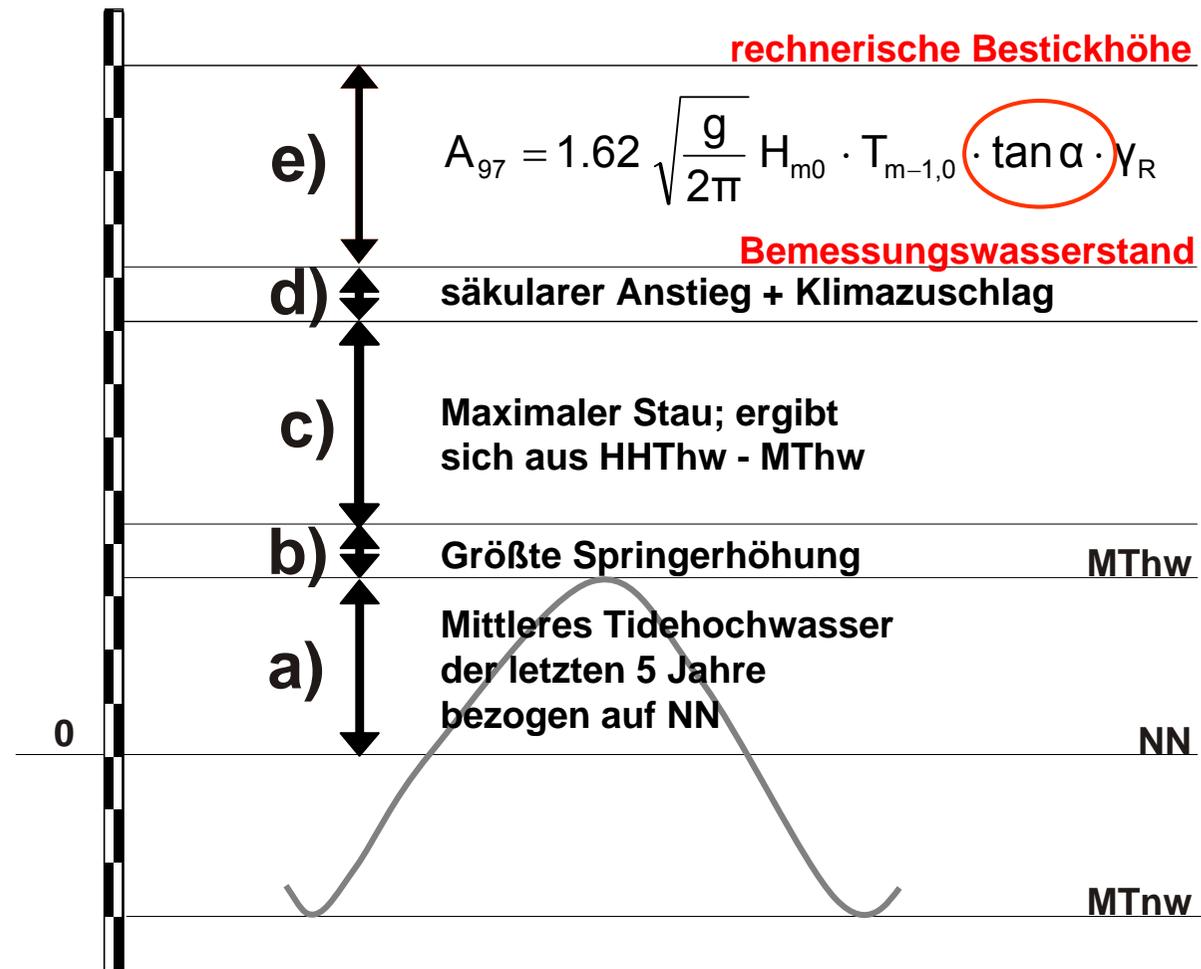
-  Entwicklung einer integrierten Bemessung von See- und Ästuardeichen
-  Berücksichtigung der hydrodynamischen Belastung, der Deichgeometrie und der **Eigenschaften des verwendeten Erdbaustoffes**
-  Deiche können zukünftig sicherer und wirtschaftlicher dimensioniert werden
-  Sicherheitsreserven bzw. Sicherheitsdefizite bestehender Deiche können quantifiziert werden
-  Erstellung von Prioritätskatastern für zukünftig notwendige Deichverstärkungen im Insel- und Küstenschutz

Arbeiten von INTBEM B

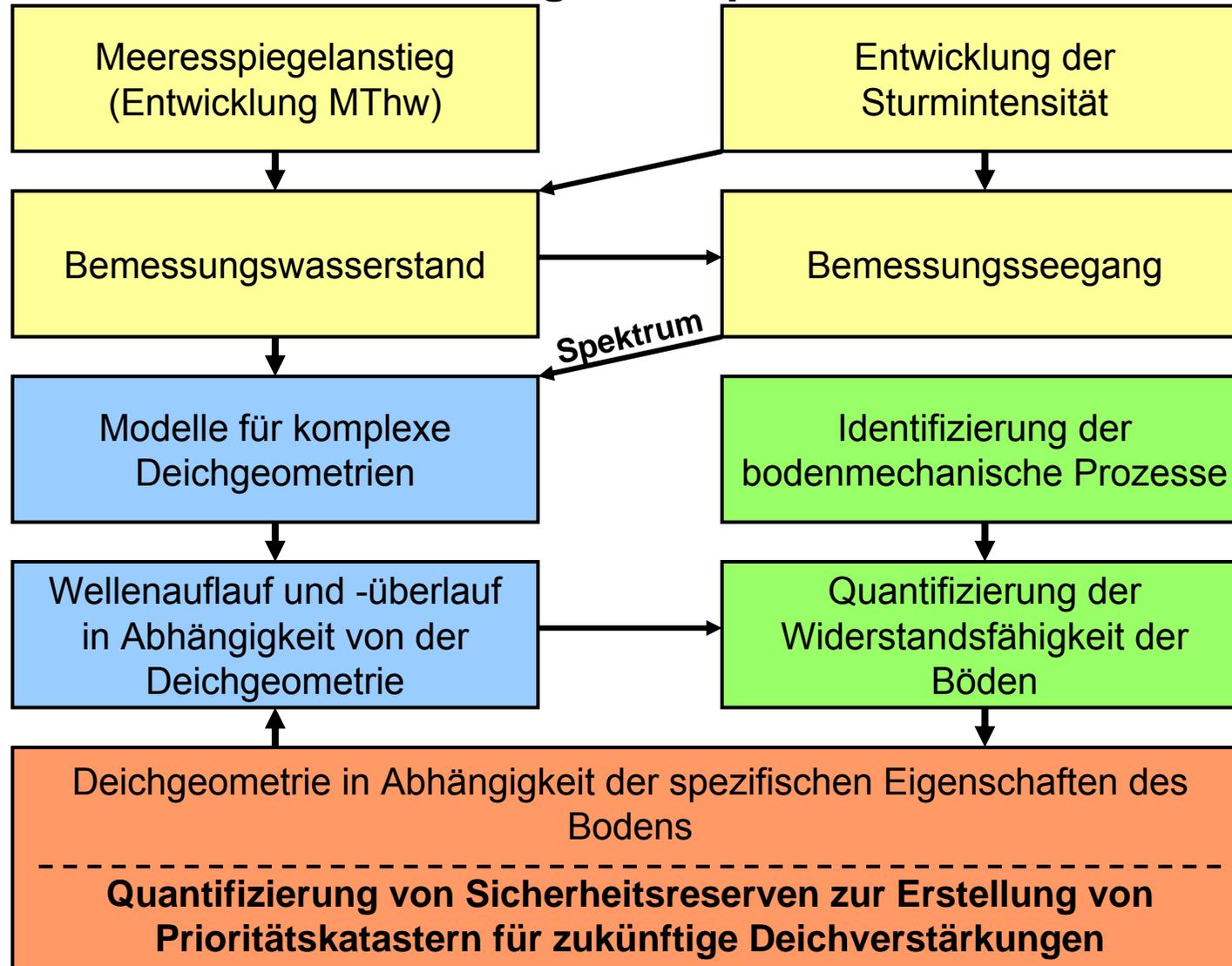
-  Mathematische Modellierung der hydrodynamischen Belastung (Wellenauflauf, Wellenüberlauf, Auf- und Rücklaufgeschwindigkeiten, Schichtdicken, etc.)
-  Verifikation des Modells auch an Hand komplexer Geometrien
-  Nachweis der Erforderlichkeit eines Modells ins Besondere im Hinblick auf die Verfügbarkeit umfangreicher empirischer Gleichungen

Bemessung von Seedeichen in Niedersachsen

nach Lüders u. Leis 1964, ML 1973 und Niemeyer 2000



Bemessungskonzept INTBEM



Wellenüberlauf - Belastungsreserven



Derzeit angesetzte Überlaufsicherheiten

- ➔ 3% aller Wellen (TWB 1967) Niedersachsen
- ➔ 2 l/(m·s) Generalplan Schleswig-Holstein
- ➔ 0,1-1,0 l/(m·s) Niederlande

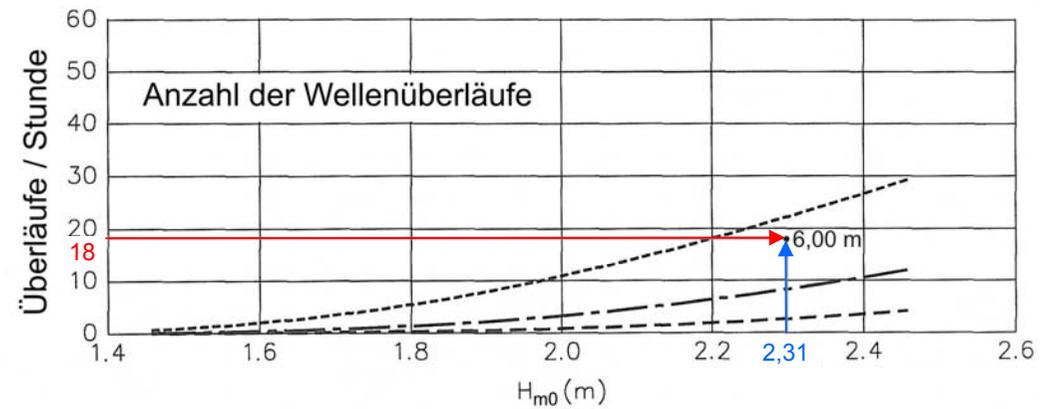


Ergebnisse der Überlauf tests in Delfzijl

- ➔ Keine Schäden an der Grasnarbe **bis 50 l/(m·s)**
- ➔ Funktionserhalt bis 50 l/(m·s) nach künstlicher Vorschädigung



Überlauftoleranz und Bemessungswasserstand



BWSt (mNN)

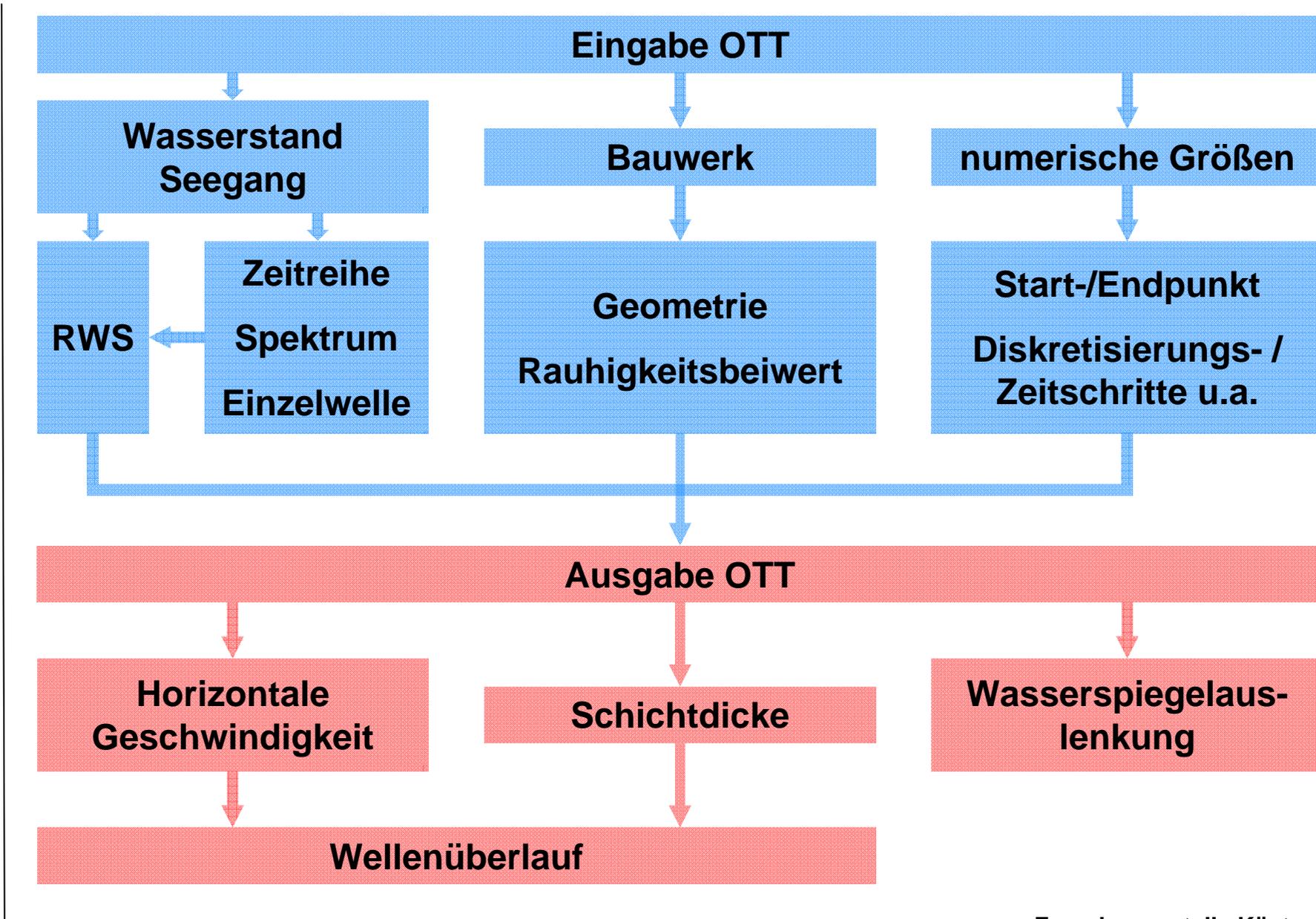
- 6.10
- 5.80
- - - - 5.50

Mathematische Modellierung

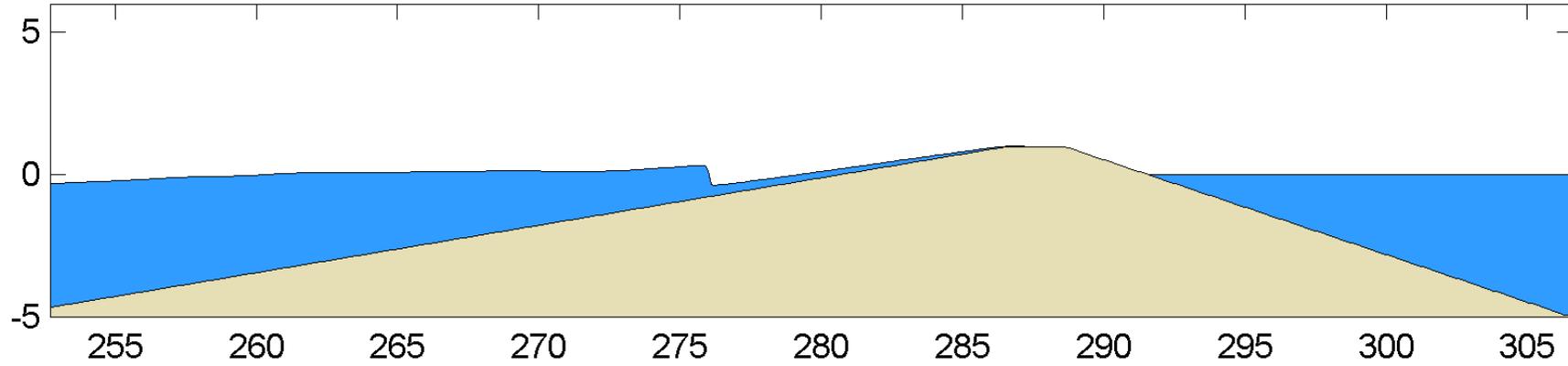
OTT-1D



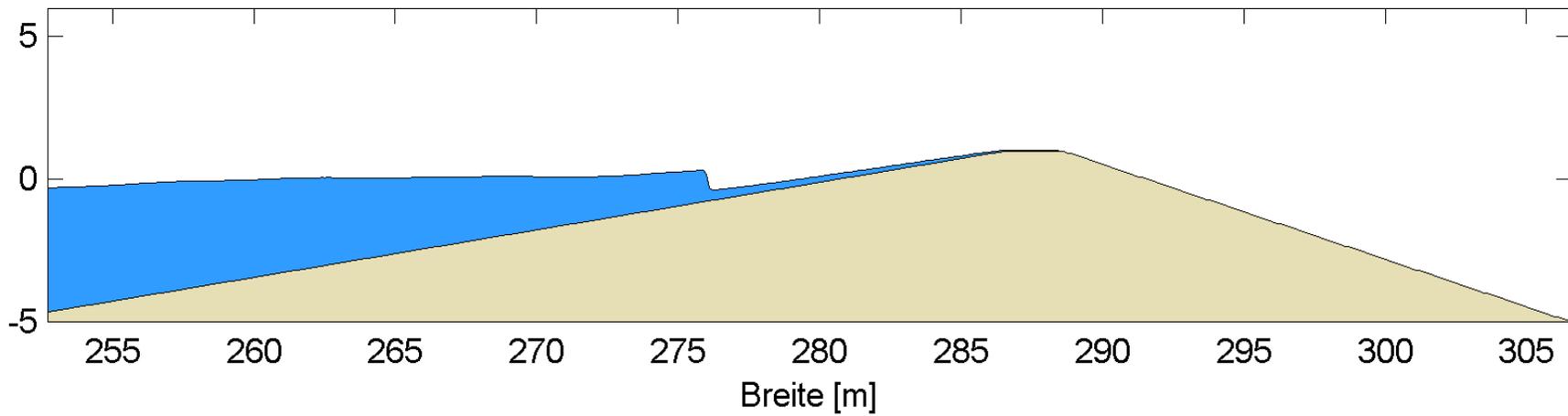
- Flachwassergleichungen (Impuls- und Massenerhaltung)
 - explizite Lösung über FVM nach dem Godunov-Verfahren
 - Maximaler Rechenzeitschritt wird durch CFL-Kriterium beschränkt
 - Wellenbrechen ist implizit durch Borenbildung enthalten
-
- ➡ effizient und stabil
 - ➡ wenige Modelleinstellungen nötig



OTT-1D original



OTT-1D modifiziert



Breite [m]

Vorgehen

1) alle Daten aus den verfügbaren Wellenkanalversuchen werden mit OTT-1D modelliert

2) Validierung des Modells mittels Regression

 Die **Regressionsgerade** sollte möglichst nah an der Referenzlinie liegen

 Die **Streuung** sollte möglichst gering sein

➡ $0,9 < R^2 \leq 1,0$ sehr gut bis perfekt

➡ $0,8 < R^2 \leq 0,9$ gut bis sehr gut

Vorgehen

- 1) alle Daten aus den verfügbaren Wellenkanalversuchen werden mit OTT-1D modelliert
- 2) Validierung des Modells mittels Regression
- 3) Vergleich mit empirischen Formeln
 - ➡ speziell auf die Daten aus den jeweiligen Kanalversuchen angepasste Formel
 - ➡ allgemeine Wellenüberlauformel aus EurOtop 2007

empirische Formeln:

Grundgleichung:

$$Q_* = Q_0 \exp(-b * R_*)$$

mit:

Q_*

dimensionsloser Wellenüberlauf

R_*

dimensionslose Freibordhöhe

Q_0 und b

empirische Beiwerte

Anpassung der Beiwerte bis berechnete und gemessene Werte bestmöglich übereinstimmen

unterschiedliche Berechnung:

Norderney Weststrand:

nur von Seegang abhängig

keine Geometrie

Norderney Nordstrand:

von Seegang und äquivalenter Deichneigung abhängig

keine exakte Geometrie, keine Rauigkeit

EurOtop:

nahezu alle denkbaren Einflussfaktoren enthalten, jedoch mit gewissen Einschränkungen

Vorgehen

- 1) alle Daten aus den verfügbaren Wellenkanalversuchen werden mit OTT-1D modelliert
- 2) Validierung des Modells mittels Regression
- 3) Vergleich mit empirischen Formeln
 - ➡ speziell auf die Daten aus den jeweiligen Kanalversuchen angepasste Formel
 - ➡ allgemeine Wellenüberlauformel aus EurOtop 2007
- 4) Kalibrierung des Modells

verfügbare Daten zur Validierung und Kalibrierung



einfache Geometrie: Deich

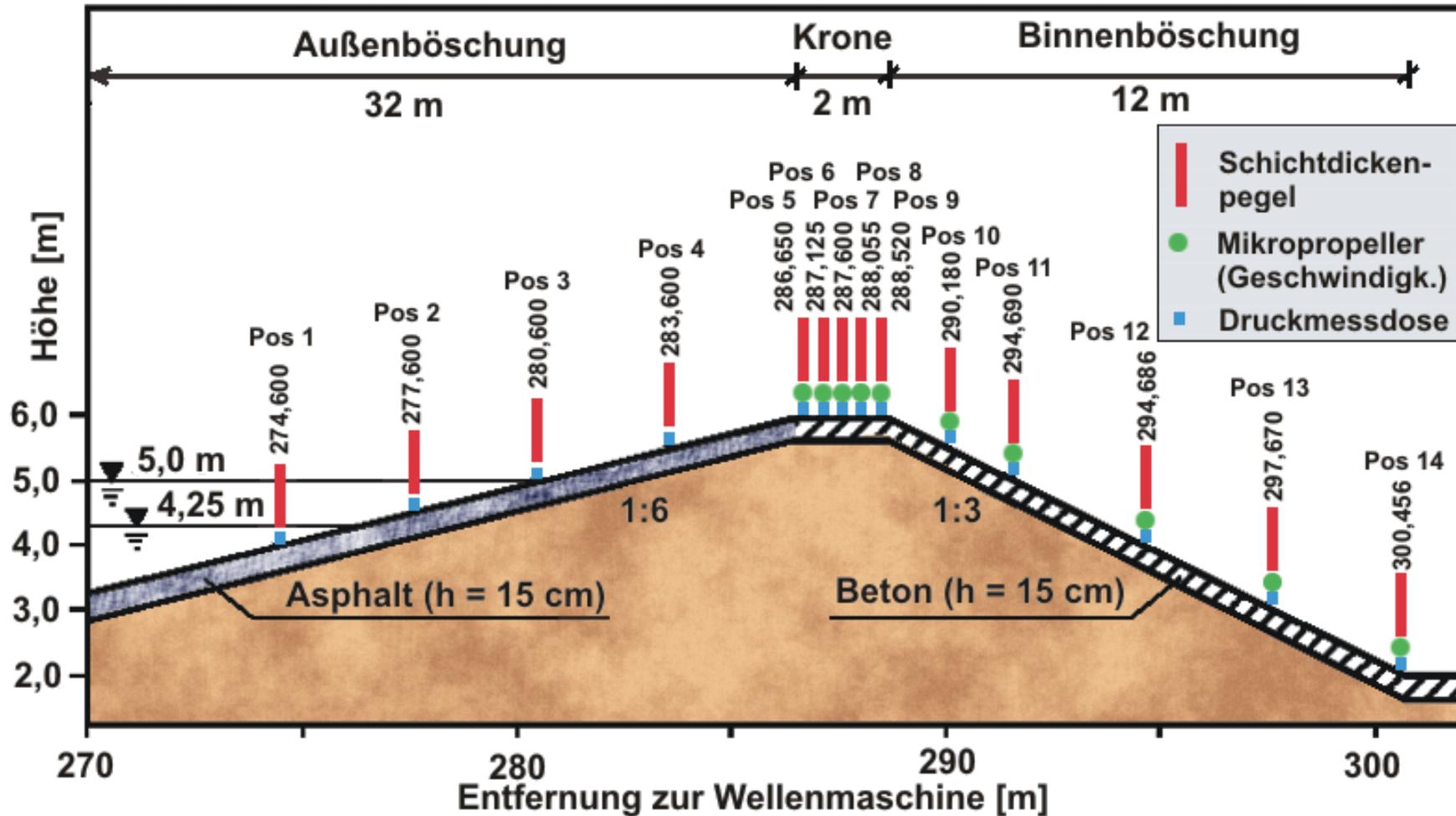
- ➡ Großer Wellenkanal – Hannover (2000)
- ➡ Wellenkanal Franzius Institut (2007)



komplexe Geometrie: Deckwerk

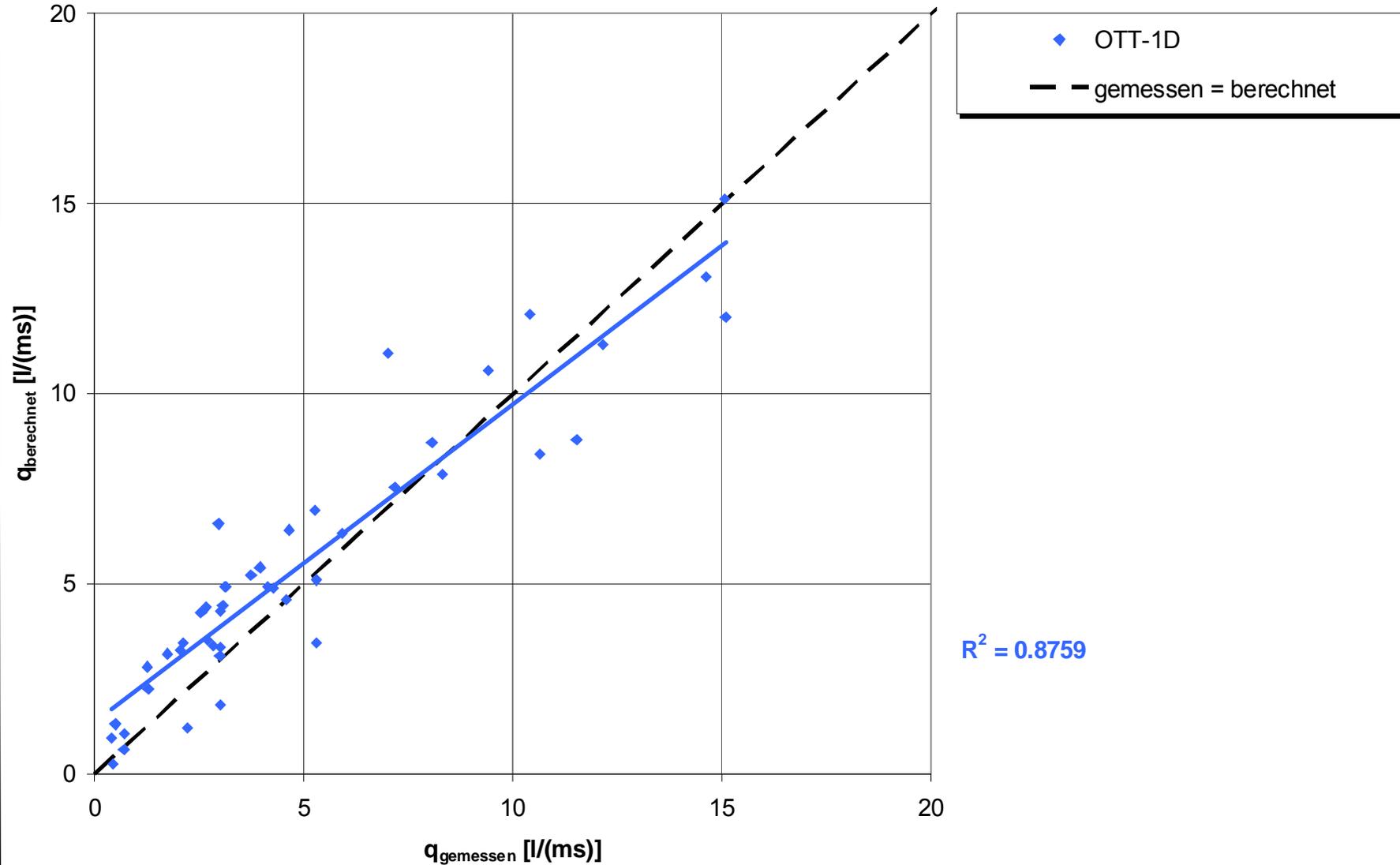
- ➡ Wellenkanal Leichtweiß-Institut – Norderney Weststrand (2003)
- ➡ Wellenkanal Leichtweiß-Institut – Baltrum Weststrand (2006)
- ➡ Großer Wellenkanal Hannover – Norderney Nordstrand (1999)

Versuchsanordnung im GWK (2000)

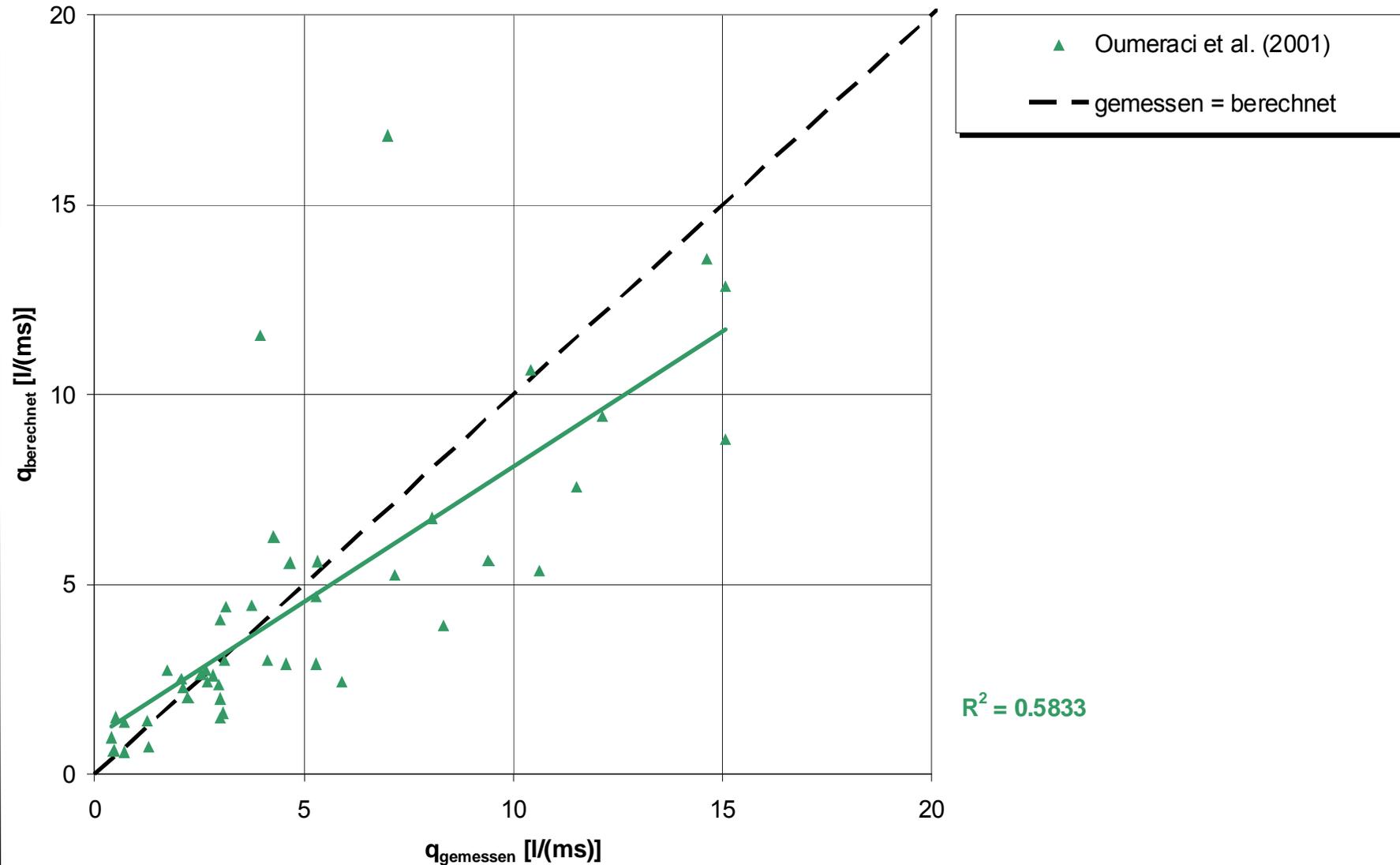


nach Oumeraci et al. 2001

Vergleich: OTT-1D mit gemessenen Daten



Vergleich: angepasste empirische Formel mit gemessenen Daten



Grundgleichung:

$$Q_* = Q_0 \exp(-b * R_*)$$

dimensionslose Parameter

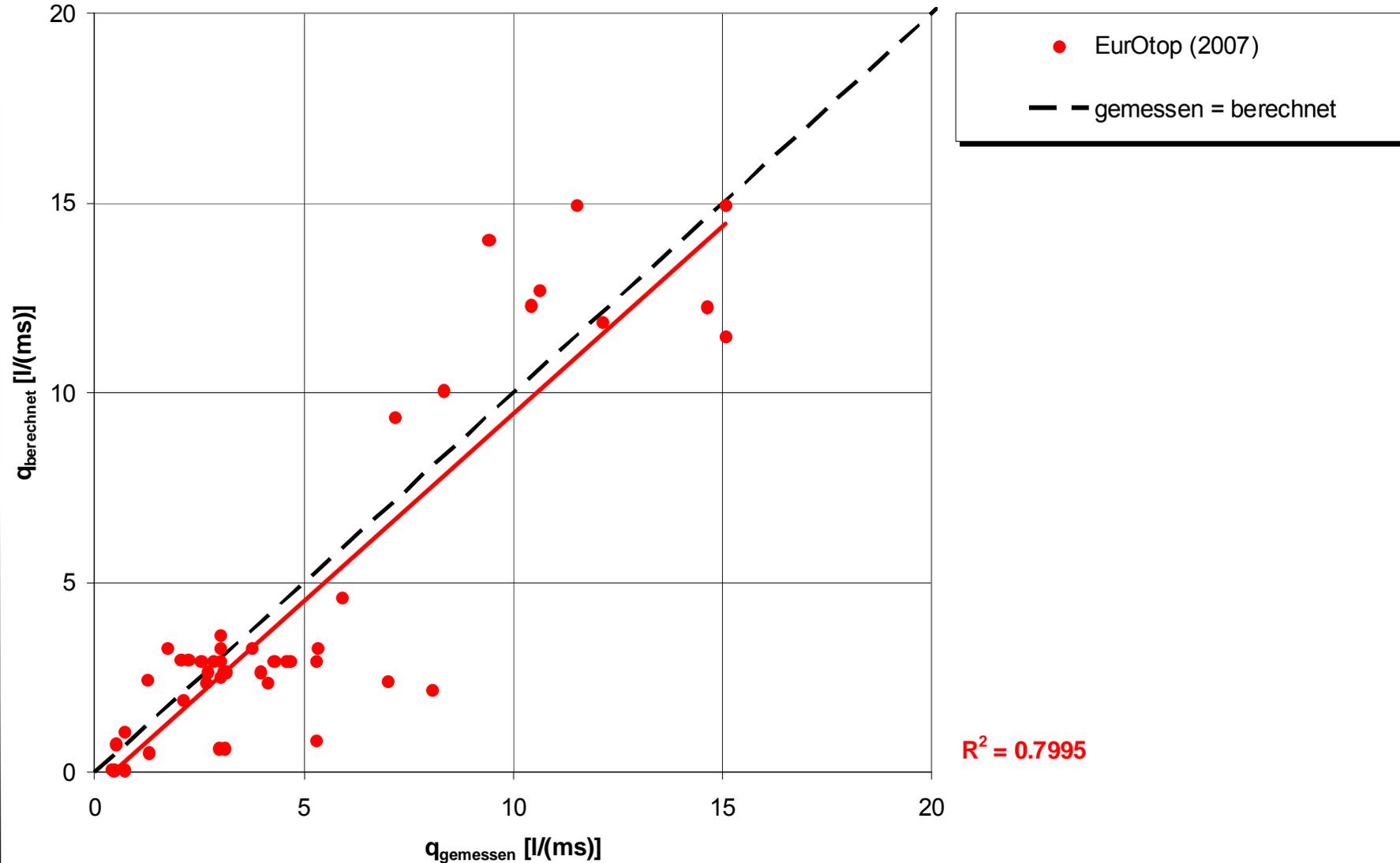
$$Q_* = \frac{q}{\sqrt{2 g H_{m0}^3}} \frac{1}{\xi_d}$$

$$R_* = \frac{R_c}{H_{m0} \xi_d}$$

empirische Beiwerte:

Q_0	0,038
b	3,25 (offene Küste)
	4,32 (Wattenmeer)

Vergleich: EurOtop mit gemessenen Daten



Grundgleichung:

$$Q_* = Q_0 \exp(-b * R_*)$$

dimensionslose Parameter

$$Q_* = \frac{q}{\sqrt{g H_{m0}}} \sqrt{\frac{H_{m0} / L_0}{\tan \alpha}} \frac{1}{\gamma_b}$$

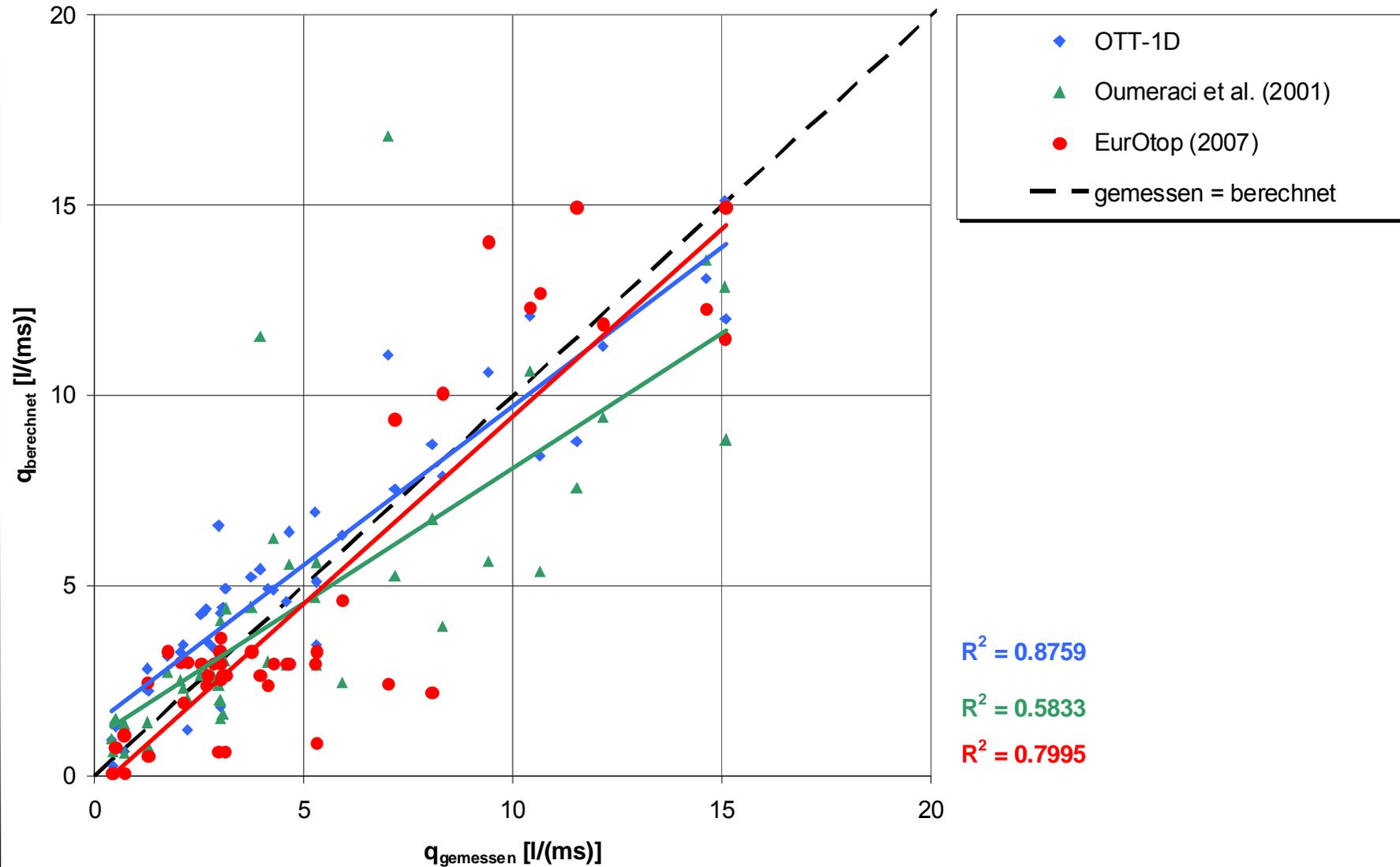
$$R_* = \frac{R_c}{H_{m0}} \sqrt{\frac{H_{m0} / L_0}{\tan \alpha}} \frac{1}{\gamma_b \gamma_f \gamma_\theta \gamma_\nu}$$

empirische Beiwerte:

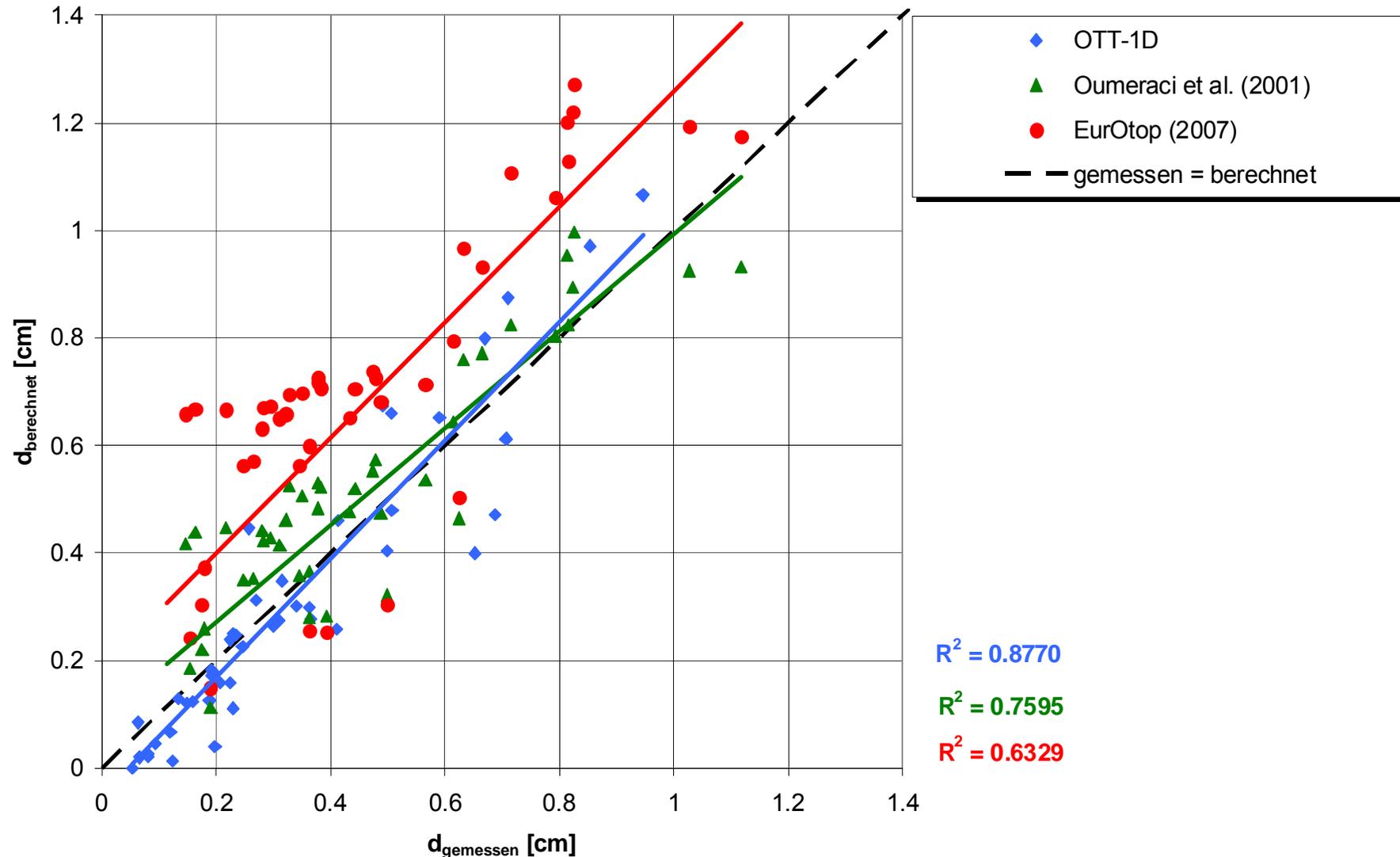
$$Q_0 \quad 0,067$$

$$b \quad 4,75$$

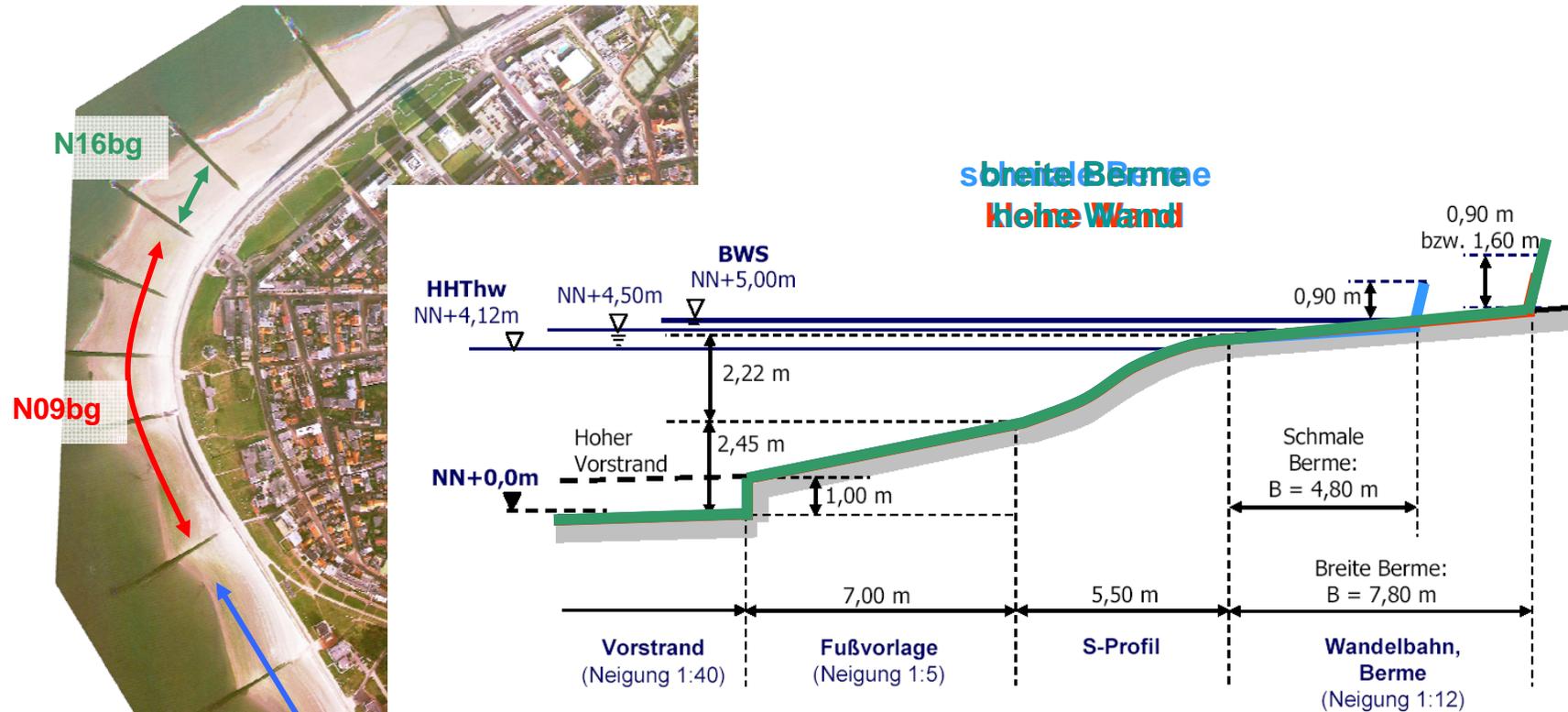
Vergleich: berechnete und gemessene Wellenüberlaufrate



Vergleich: berechnete und gemessene mittlere Wasserüberdeckung



Norderney Weststrand – 3 Profile mit je 3 Wasserständen



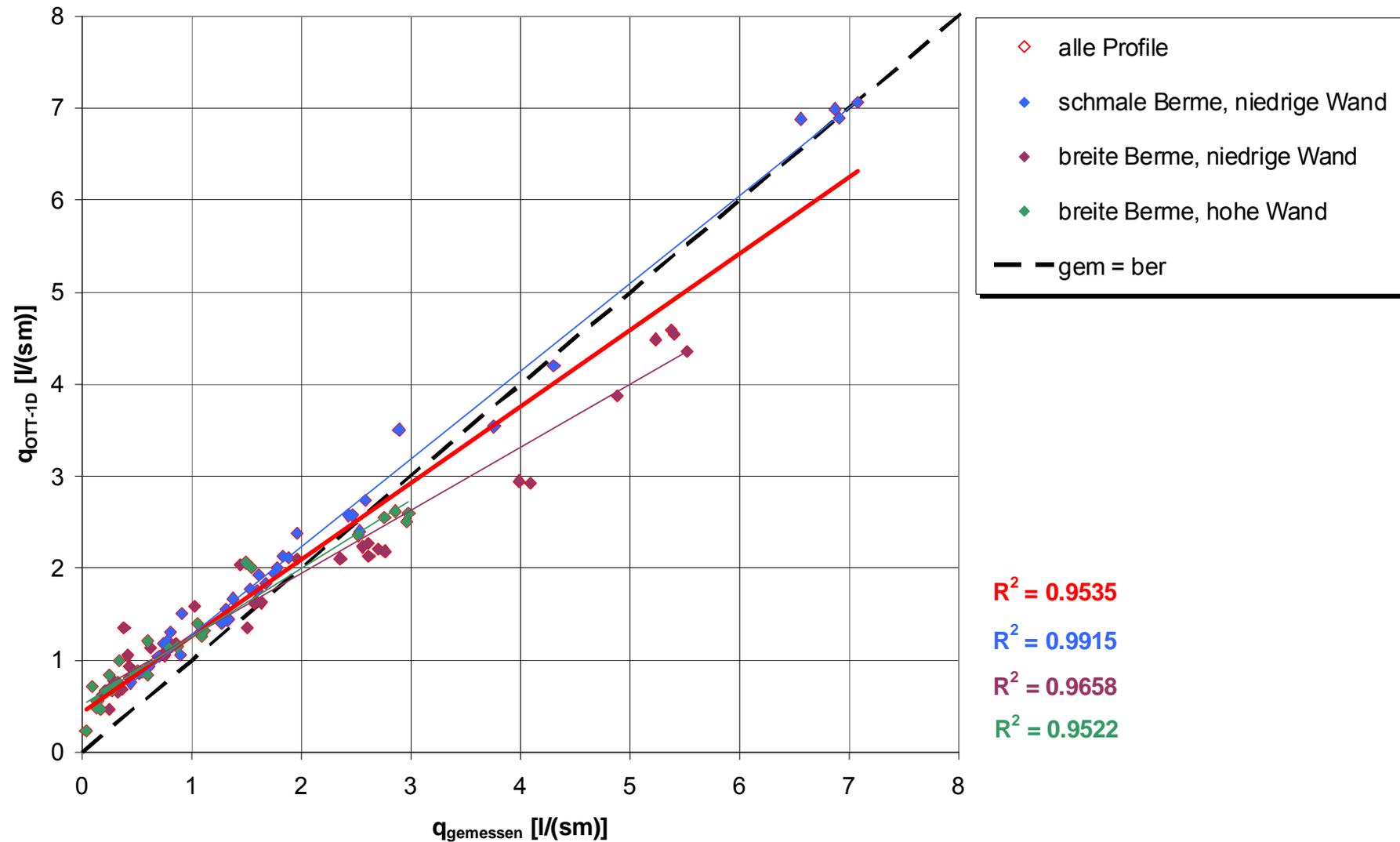
Hintergrund-Quelle:
Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen
Vermessungs- und Katasterverwaltung



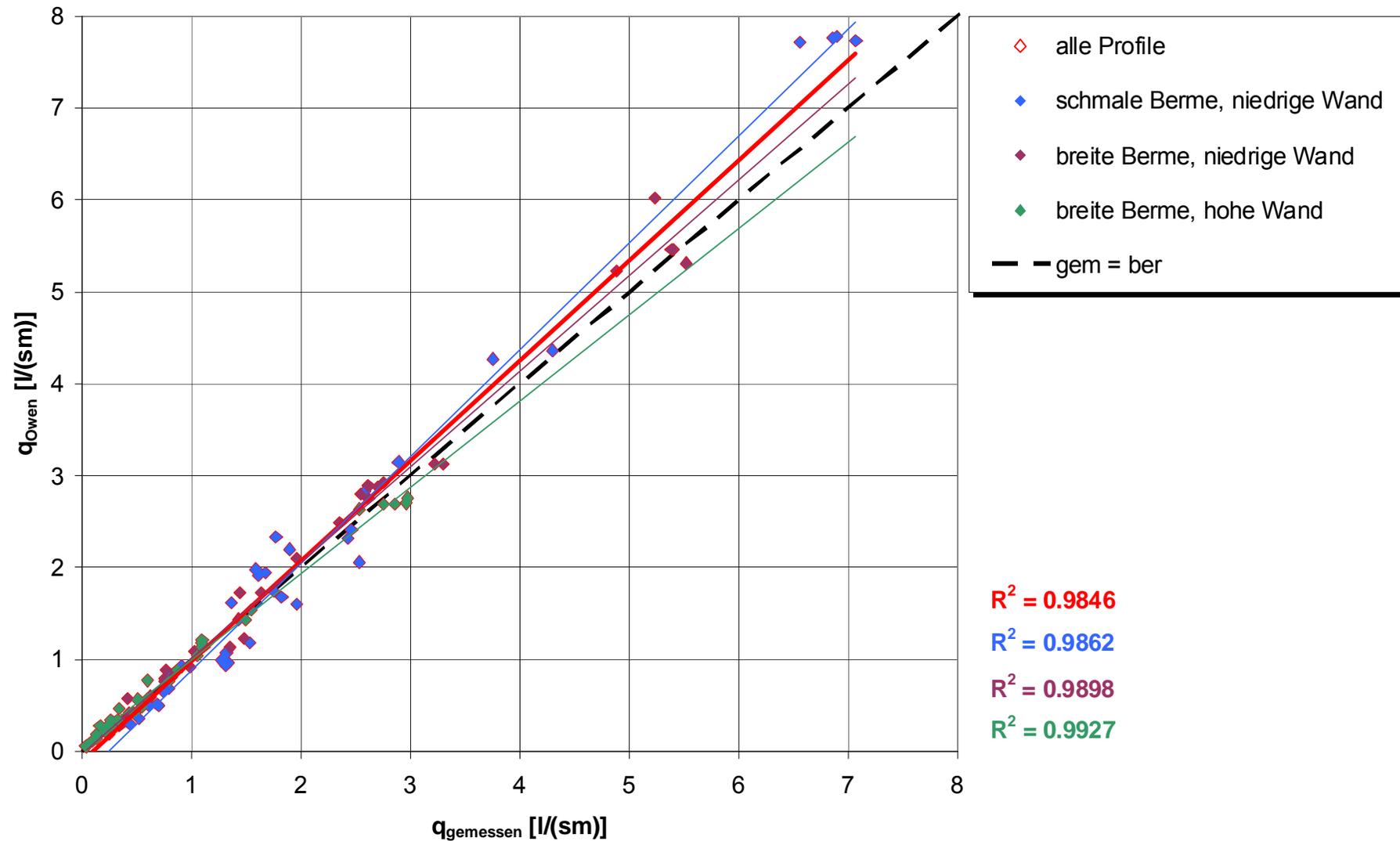
Kortenhaus et al., 2004

Forschungsstelle Küste

Vergleich: OTT-1D mit gemessenen Daten



Vergleich: angepasste empirische Formel mit gemessenen Daten



Grundgleichung:

$$Q_* = Q_0 \exp(-b * R_*)$$

dimensionslose Parameter

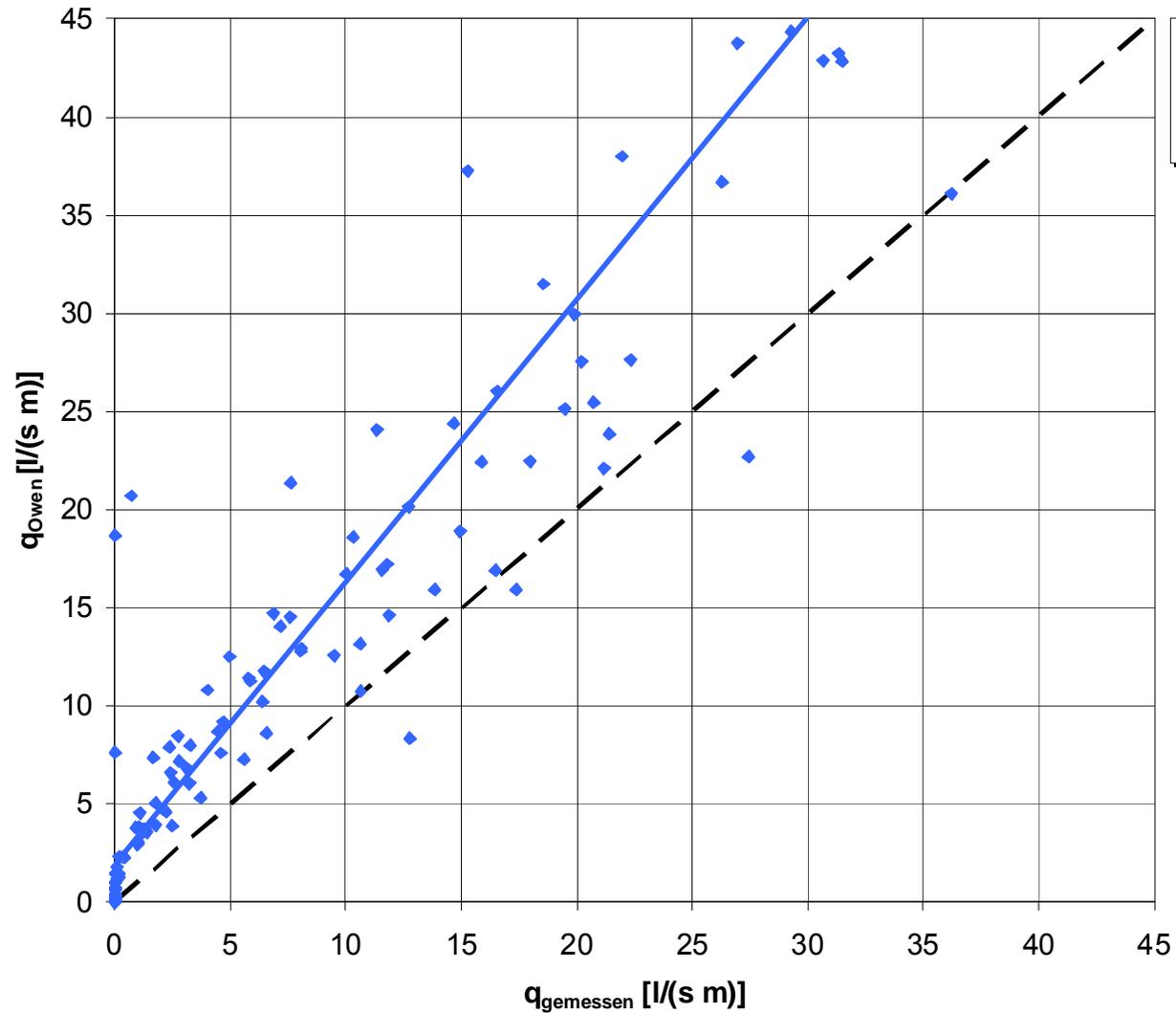
$$Q_* = \frac{q}{g H_{m0} T_{m-1,0}}$$

$$R_* = \frac{R_c}{T_{m-1,0} \sqrt{g H_{m0}}}$$

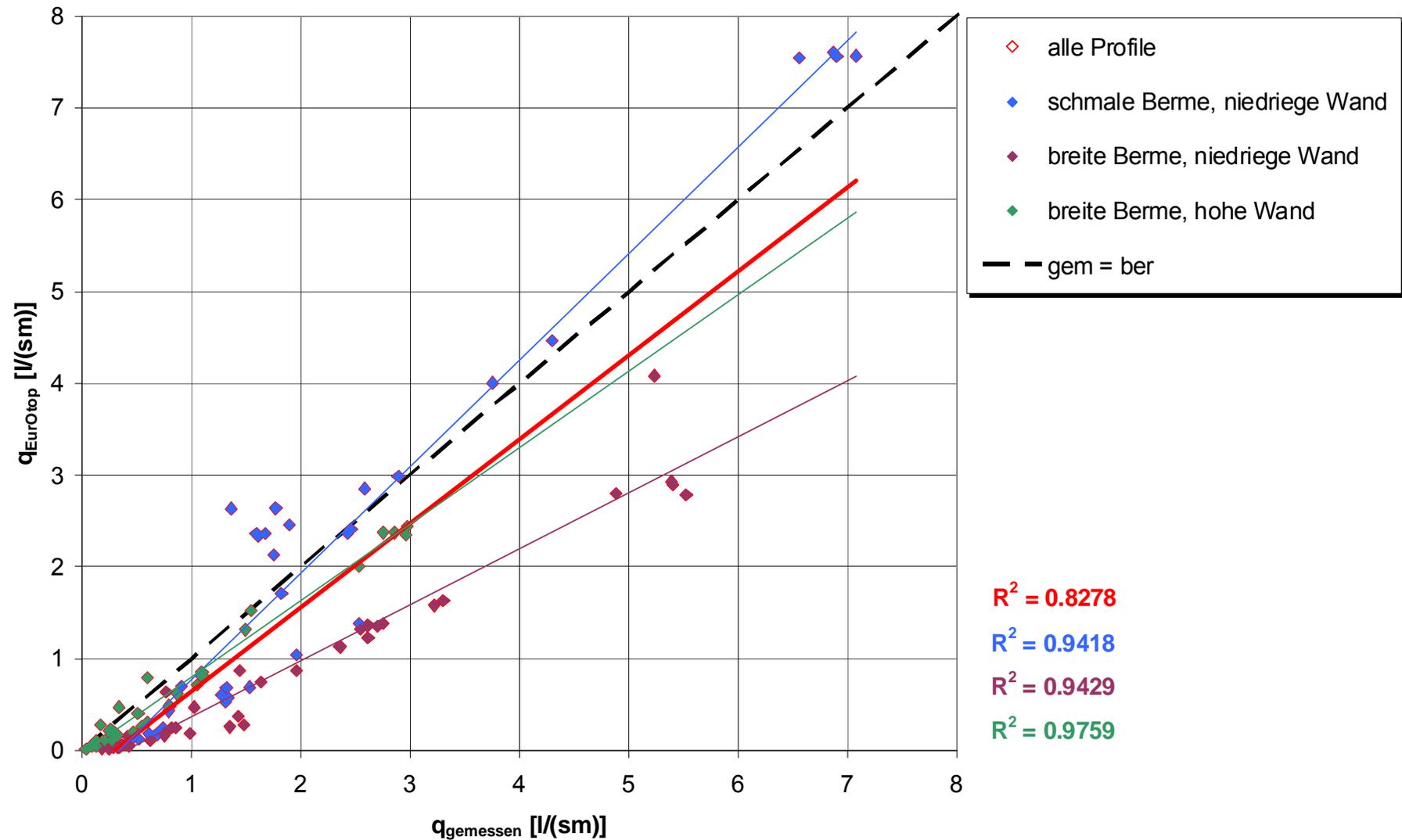
empirische Beiwerte:

Q_0	0,0081
b	45,447

Formel vom Weststrand am Nordstrand angewendet



Vergleich: EurOtop mit gemessenen Daten



Grundgleichung:

$$Q_* = Q_0 \exp(-b * R_*)$$

dimensionslose Parameter

$$Q_* = \frac{q}{\sqrt{g H_{m0}}} \sqrt{\frac{H_{m0} / L_0}{\tan \alpha}} \frac{1}{\gamma_b}$$

$$R_* = \frac{R_c}{H_{m0}} \sqrt{\frac{H_{m0} / L_0}{\tan \alpha}} \frac{1}{\gamma_b \gamma_f \gamma_\theta \gamma_\nu}$$

empirische Beiwerte:

$$Q_0 \quad 0,067$$

$$b \quad 4,75$$

Weitere übergebene Belastungsgrößen

- ➡ Wellenauf- bzw. Wellenüberlauf
- ➡ Schichtdicken auf Außenböschung, Krone und Binnenböschung
- ➡ mittlere Wasserüberdeckung
- ➡ Strömungsgeschwindigkeiten
- ➡ Auflauf- bzw. Ablaufgeschwindigkeiten
- ➡ Überlaufgeschwindigkeiten

Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit

